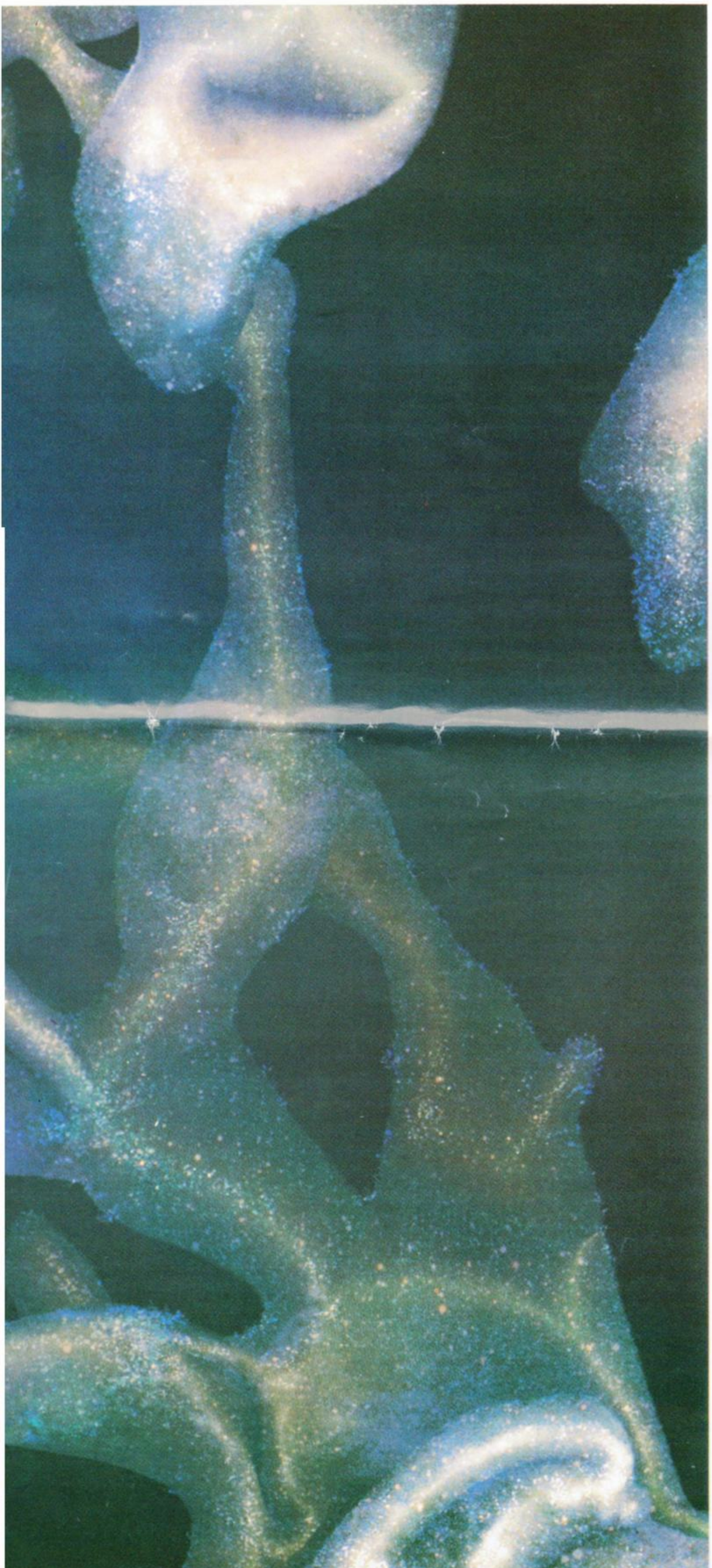
LA ESTRUCTURA DEL UNIVERSO



Tras la Gran Explosión, el universo estaba repleto de gases calientes, de radiación y puede que de otros componentes, todavía desconocidos. Al pasar el tiempo y aumentar de tamaño, el gas se expandió para llenar el espacio que se estaba creando. La materia del universo empezó a enfriarse y a la larga "cuajó" como un queso cósmico.

El gas no se acumuló al azar. Evitó algunas zonas, dejando agujeros vacíos. Como el universo se ha expandido, estos agujeros tienen una longitud de 200 millones de años luz y cada año luz equivale a 10 billones de kilómetros.

El gas se concentró en las paredes que separaban los agujeros y en la unión de las dos paredes se formaron unos largos filamentos; utilizando otro término muy en boga en gastronomía, se congelaron en largas hebras en forma de espaguetis. Del gas de los filamentos surgieron las galaxias, como la Vía Láctea en la que vivimos.

Los astrónomos no pueden ver los filamentos que poblaban el universo primitivo, pero están bastante seguros que el gas no se condensó de esta manera. Hace unos años, descubrieron que las galaxias que se encuentran cerca de nosotros forman largos filamentos que deben ser el vestigio de una primitiva expasión de gas. Hay paredes en el espacio cada 400 millones de años luz y un enorme filamento de galaxias en dirección de las constelaciones Perseo y Pegaso tiene una longitud de 1.000 millones de años luz.

Algunas teorías del universo sostienen que había paredes, agujeros y filamentos en el universo primitivo. En los años 30, el astrónomo alemán Fritz Zwick sugirió que la mayor parte de la materia del universo no tiene la forma de las estrellas y de las galaxias que conocemos hoy en día, sino que es oscura y totalmente invisible. En los últimos años, la mayoría de los astrónomos han llegado a la misma conclusión que Zwicky. Una idea bastante extendida es que la "materia oscura" está formada por un mar gigantesco de partículas subatómicas, que pueblan todo el universo.

Aunque estas partículas oscuras, con nombres tales como axiones, neutrinos y fotinos, no tienen mucho que ver con la materia corriente que configura las galaxias, las estrellas y nuestro propio planeta, ejercen un poder gravitacional. Cuando los astrónomos utilizaron los ordenadores para investigar de nuevo lo que sucedió tras la Gran Explosión, es decir, si el gas podía atravesar la materia oscura, descubrieron que se condensó en los espaguetis que aparecen en la foto, justo el tipo de estructura que dio lugar a la dispersión de las galaxias tal y como las conocemos hoy en día.

Un millón de años después de la Gran Explosión, el gas del universo se condensó en unos largos filamentos o "espaguetis". Cada filamento tiene una longitud de cientos de millones de años luz.

La foto está basada en una imagen simulada por ordenador de cómo debió "cuajar" la materia tras la Gran Explosión, cuando la materia ordinaria se mezcla con una cantidad más importante de "materia oscura" invisible. Los astrónomos norteamericanos Joan Centrella y Adrian Melott emplearon un ordenador tremendamente sofisticado para calcular el tamaño de esas estructuras gaseosas del universo primitivo.

De este gas nacerían posteriormente las galaxias en forma de largos anillos separados por enormes agujeros vacíos. El resultado que muestra la foto reproduce perfectamente la distribución de las galaxias en el universo actual: nuestra propia galaxia, por ejemplo, equivale a una tercera parte de la longitud total del filamento de las galaxias, cuyo núcleo se encuentra en un grupo gigante de galaxias en la constelación Virgo.

EMPIEZAN A FORMARSE LAS GALAXIAS

El episodio de la historia del universo que comprendemos, aunque no es verdaderamente el primer acto (el gas y la radiación existentes tras la Gran Explosión han revelado gran parte de su configuración) permite hacernos una idea del segundo, es decir, cuando la gravedad transformó los gases diluidos de la Gran Explosión en estrellas y galaxias.

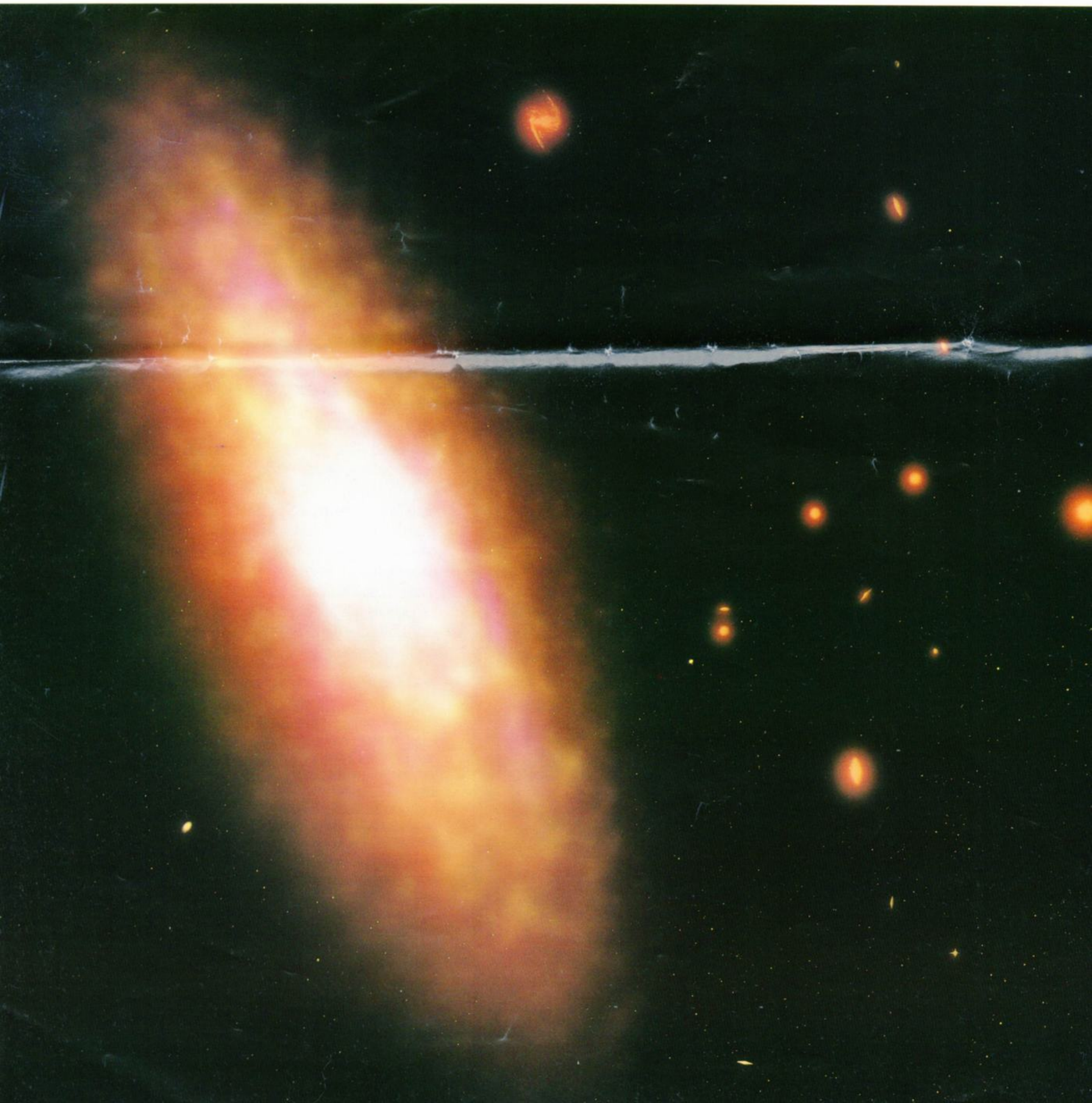
Actualmente, el universo que conocemos, está formado principalmente por estrellas, cada una de ellas del tamaño del Sol, agrupadas en forma de galaxias. (Puede que haya también una cantidad importante de materia oscura que somos incapaces de ver.) Las galaxias son gigantescas agrupaciones de estrellas: incluso las galaxias "enanas" tienen más de un millón de estrellas y algunas galaxias están formadas por más de un billón de estrellas. Gran número de galaxias tienen también nubes de polvo y gas.

El Sol es una de las 200.000 millones de estrellas que forman parte de una galaxia de tipo medio, es decir, la Vía Láctea. Los millones de estrellas de la Vía Láctea están repartidos por el cielo como un haz luminoso pálido. En la Grecia antigua creían que era la leche del pecho de la diosa Hera. De la palabra griega para designar la "leche" tenemos la otra palabra, "Galaxia", para definir la Vía Láctea.

Los astrónomos también emplean la palabra "galaxia" para otras agrupaciones de estrellas del universo.

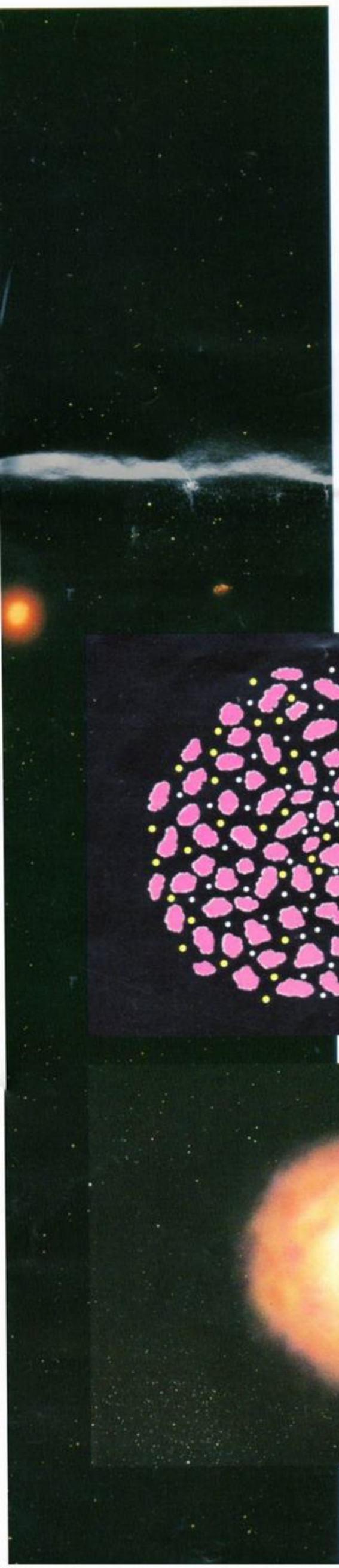
Las galaxias se encuentran en grupos de galaxias o en otros cúmulos más grandes en el espacio. Algunos de estos cúmulos pueden llegar a contener miles de galaxias. Los cúmulos forman, a su vez, los "supercúmulos", y éstos

Una galaxia, que está formada principalmente por nubes de gas brillante, comienza a condensarse de la materia producida por la Gran Explosión. Esta "protogalaxia" se ha formado a partir de un cúmulo de gas que, al girar rapidamente, ha terminado formando un disco; con el tiempo, tendrá una forma espiral, tal y como podemos ver en la galaxia que se acaba de formar inmediatamente detrás de la protogalaxia.



Un número importante de las protogalaxias del fondo se han condensado a partir de cúmulos de gas que no tenían forma de hebra. Son esféricas y se transformarán en círculos de estrellas, es decir, en galaxias elípticas.

Los puntos de luz son quasars, unas potentes explosiones en el núcleo de otras protogalaxias mucho más distantes.



constituyen los bloques que configuran las gigantescas paredes y filamentos que se encuentran por todo el universo.

Cuando se trata de estudiar el origen de las galaxias, los astrónomos no saben si fue primero el huevo o la gallina. El científico soviético Yakov Zel'dovich sugirió que los gases de la Gran Explosión se formaron primero en las gigantescas paredes y filamentos. Los cúmulos de gas de esas estructuras originaron cuerpos cada vez más pequeños, es decir, del tamaño de los supercúmulos y de los cúmulos, y por último cúmulos de gas del tamaño de una galaxia, que se condensaron en cada una de las galaxias de estrellas.

Algunos astrónomos norteamericanos no comparten la misma opinión. Piensan que la materia original condensada en un amplio número de diminutos cúmulos de gas, cada uno de los cuales se convirtió en una estrella (o en un pequeño grupo de estrellas), se repartió por igual por todo el universo. La gravedad atrajo unas estrellas a otras, agrupándose así en galaxias, y éstas se agruparon luego en cúmulos y supercúmulos.

Los astrónomos han elaborado una versión detallada de esta segunda teoría, tal y como figura aquí. Los cúmulos de gas de mil años luz de longitud se condensaron con el gas original de la Gran Explosión. Algunos de estos cúmulos formaron las pequeñas galaxias y otros se agruparon por cientos hasta formar galaxias más grandes, como la Vía Láctea en la que vivimos.

Las pequeñas nubes de gas, al quedar en las regiones periféricas de lo que sería posteriormente una galaxia, se condensaron y se transformaron en estrellas. Las estrellas de esta "primera generación" seguirán girando en gigantescas órbitas alrededor de la galaxia.

Como dos aviones que colisionan en pleno vuelo y caen al suelo, la colisión de dos nubes pequeñas de gas redujo la velocidad de rotación sobre la galaxia embrionaria y fueron cayendo gradualmente hacia el núcleo. A medida que el gas se iba acumulando en el núcleo de la "protogalaxia", había más gas que se transformaba en estrellas. Estas estrellas jóvenes brillantes iluminaron el gas que tenían alrededor, de tal manera que toda la protogalaxia tenía el brillo de la luz azul fluorescente de las estrellas calientes y la radiación color rojo carmín del gas caliente a su alrededor. En esta fase, una galaxia como nuestra Vía Láctea era cientos de veces más brillante de lo que es ahora.

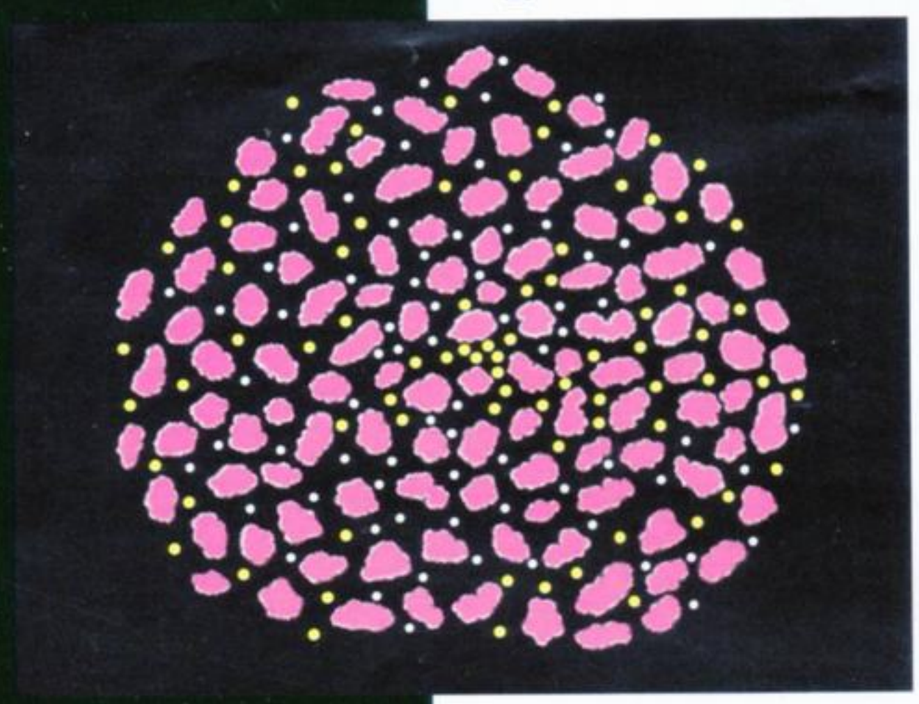
Según esta teoría, la mayoría de las grandes galaxias se formaron en los primeros 1.000 millones de años posteriores a la Gran Explosión, cuando el universo no tenía ni siquiera la décima parte de la edad actual. Podemos comprobar esta teoría con nuestra Vía Láctea. Lo mismo que un arqueólogo sabe cuándo fue poblado por vez primera un lugar a través de los objetos de cerámica encontrados en el yacimiento, los astrónomos pueden determinar la fecha del nacimiento de una galaxia por la edad de sus estrellas más envejecidas. En nuestra galaxia, han nacido estrellas todo el tiempo; por consiguiente, abarcan un gran espectro de edades. Sin embargo, las estrellas más envejecidas tienen 14 000 millones de años aproximadamente: nacieron con la galaxia 1 000 millones de años después de la Gran Explosión.

En la década de los años ochenta y noventa, los astrónomos han podido adentrarse más en el pasado del Universo para ver nacer las galaxias en el momento de su formación. Han podido encontrar algunos cuerpos que son probablemente protogalaxias, pero no la cantidad que esperaban.

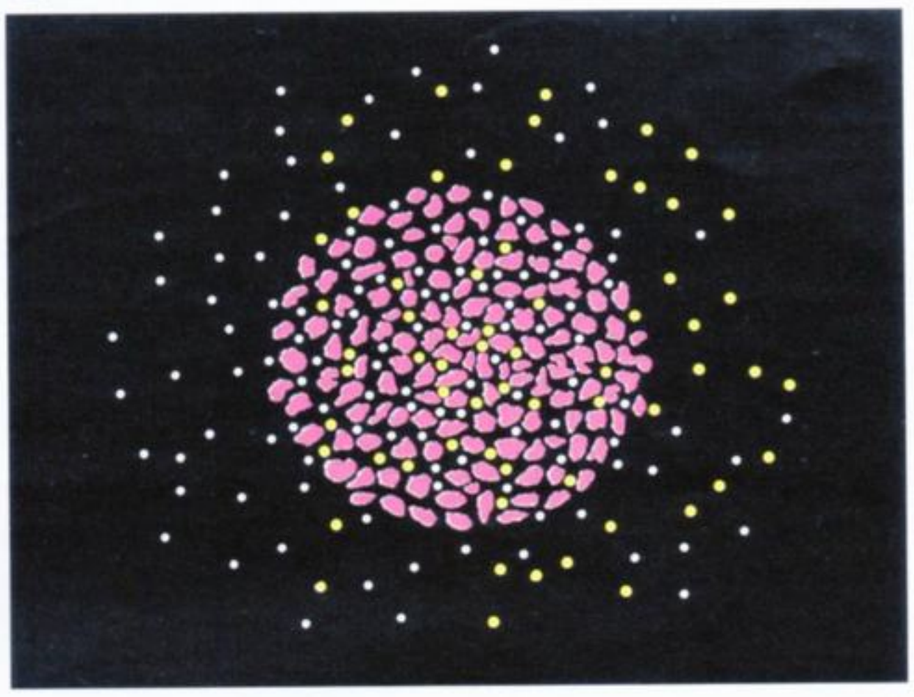
Sorprendentemente, estos arqueólgos cósmicos han descubierto, no obstante, un número importante de galaxias más pequeñas que se formaron miles de millones de años más tarde en la historia del universo.

Aunque las galaxias más grandes surgieron tras la Gran Explosión, parece que un número considerable de sus hermanas pequeñas nacieron mucho tiempo después. De hecho, algunas nubes luminosas de gas que existen en el espacio, muy cerca de la Vía Láctea, son probablemente la última generación de galaxias enanas que se están condensando ahora del gas primitivo.

1.



2.



3.

4.

***1.** Según los cálculos hechos con ordenador, una galaxia se empieza a formar cuando se acumulan las nubes de gas. Las colisiones de las nubes dispersan las estrellas que pueden alcanzar una distancia de 200.000 años luz.*

***2.** Al cabo de 200 millones de años, las nubes han disminuido de tamaño, quedando las estrellas originales como un amplio halo luminoso alrededor de la protogalaxia central, que tiene una longitud de 100.000 años luz.*

***3.** Otros 200 millones de años más. Las nubes de gas están tan condensadas que terminan creando estrellas a una inmensa velocidad. La protogalaxia brilla ahora al máximo.*

***4.** Otros 200 millones de años más y la mayor parte del gas se ha convertido en estrellas. Estas estrellas y el gas restante tienen una forma espiral en el disco de la galaxia. Alrededor del disco, se encuentran las estrellas actualmente pálidas que configuran el halo luminoso de la galaxia.*

QUÁSARES

Cuando el universo era joven, las nubes de gas formaban cúmulos de los que surgieron las nuevas galaxias, las nebulosas incandescentes despedían un brillo de rayos rojos e infrarrojos y las estrellas jóvenes gigantes tenían un resplandor ultravioleta. Sin embargo, estos ejemplos de violencia cósmica no son nada comparados con los quásares.

Un quásar es la mayor concentración de energía del universo. Tiene la luz de cientos de galaxias, pero su tamaño no es superior a nuestro sistema solar. Para hacernos una idea más clara de este fenómeno, imaginemos que una bombilla casera corriente es una galaxia cualquiera, por ejemplo, nuestra Vía Láctea. El quásar es, pues, tan luminoso como un proyector de luz, pero más pequeño que un átomo.

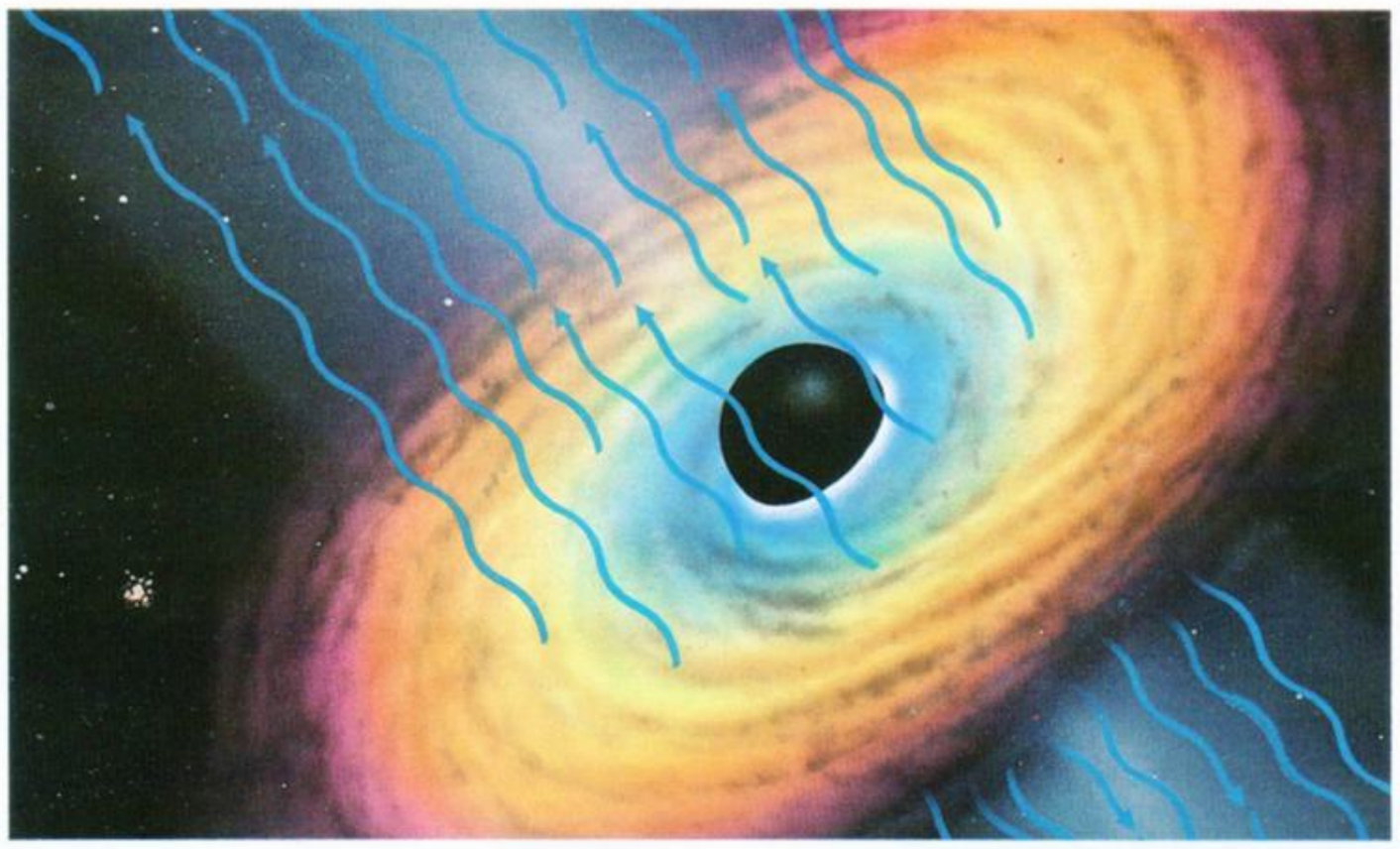
Los astrónomos que descubrieron por primera vez los quásares eran radioastrónomos. A partir de la década de los cuarenta, encontraron en el cielo cientos de "radiodifusores" naturales. Gran número de ellos eran galaxias lejanas con una enorme potencia radiodifusora que emitían longitudes de onda. En 1962, los radioastrónomos localizaron exactamente la frecuencia de una longitud de onda conocida como "3C 273" (la 273 entrada en el tercer catálogo de Cambridge de frecuencias de radio). Unas fotografías mostraron que era como una estrella, pero con un "haz" (un pequeño punto de luz) que irradiaba de uno de los lados.

Un astrónomo americano holandés, Marteen Schmidt, analizó la luz del 3C 273 y descubrió que se estaba alejando de nosotros a una velocidad vertiginosa, a mucha más velocidad que cualquier otro cuerpo de nuestra galaxia. Schmidt dedujo que el 3C 273 era muy remoto, a 2 000 millones de años luz de distancia y que se estaba alejando de nosotros a gran velocidad debido a la expansión del universo. Para que un objeto tan remoto brillara con tanta fuerza en el cielo, el 3C 273 tenía que ser más luminoso que una galaxia, aunque fuera mucho más pequeño. Los astrónomos localizaron rápidamente "otros radiodifusores casi estelares", un término que se redujo a "quásares".

Algunos astrónomos han puesto en entredicho la teoría de Schmidt sobre la luz que irradian los quásares y piensan que son cuerpos menos luminosos que se encuentran mucho más cerca de la Vía Láctea. Sin embargo, la mayoría de los astrónomos creen que los quásares son cuerpos muy remotos. Prueba de ello son las fotos de los quásares obtenidas con cámaras electrónicas de los telescopios más grandes del mundo. En estas fotos, podemos ver que el quásar se encuentra en el núcleo de una galaxia mucho menos luminosa. De hecho, estas galaxias son bastante normales, pero nos deslumbra la luz que irradia el quásar en el núcleo. Estas galaxias son muy lejanas, lo que confirma la teoría de que los quásares que se encuentran en el interior son también muy remotos y tienen que ser extraordinariamente potentes.

A medida que los astrónomos han ido localizando un número cada vez mayor de quásares, han descubierto que hay muy pocos quásares cerca de nuestra galaxia sin embargo, la cantidad va en aumento cuando nos adentramos en regiones del espacio mucho más lejanas. ¿Quiere decir que vivimos en una región del espacio en la que no hay quásares? Probablemente no, ya que debemos tener en cuenta que, cuando miramos al espacio, retrocedemos en el tiempo. Vemos el quásar más cercano, es decir, el 3C 273 tal y como era hace 2 000 millones de años. La luz de los quásares más remotos y más potentes se apagó cuando el universo tenía sólo una décima parte de la edad actual. Los quásares son, por consiguiente, explosiones violentas que perturbaban el núcleo de las galaxias cuando el universo era joven.

Los astrónomos han elaborado la siguiente teoría para explicar no sólo lo que es un quásar, sino por qué la existencia de un quásar era un indicio de la juventud de una galaxia.



Arriba: Nubes de gas frío brillan con la luz rosa pálida del hidrógeno, forman un depósito que mantiene el anillo del quásar brillante condensado en la parte superior con la materia.

El anillo espiral caliente actúa como un generador eléctrico, despidiendo energía eléctrica a ambos lados por el espacio. Estos flujos de electricidad (que en la foto aparecen como flechas azules) pueden proyectarse un millón de años luz en el espacio.

Cuando nacía una galaxia del gas residual de la Gran Explosión, parte de este gas iba a parar al núcleo de la galaxia. El núcleo de la galaxia acumuló pronto una cantidad importante de gas, equivalente a 1 000 millones de soles agrupados en un espacio muy pequeño. La gravedad de este cúmulo de gas era tan fuerte que nada, ni siquiera la luz, pudo escapar: era un agujero negro. Un agujero negro es una región del espacio en la que la materia está condensada de tal forma que nada puede escapar al efecto de gravedad, ni siquiera la luz, por eso es "negro"; todo lo que cae queda para siempre en el interior: es el último "agujero".

Un agujero negro no puede ser un quásar, porque la luz no puede escapar del interior del agujero. Sin embargo, estos agujeros negros se encuentran en el núcleo de las jóvenes galaxias y en el universo primitivo había exceso de gas alrededor de las galaxias. La gravedad del agujero negro podía atraer este gas y retenerlo. Además, las estrellas que se encontraban cerca del agujero se transformaron en filamentos de gas que también penetraron en el agujero negro. Los astrónomos han llegado a la conclusión de que el gas no fue absorbido por el agujero negro, sino que permaneció alrededor en forma de espiral. El gas en espiral formó un anillo del tamaño del sistema solar. La gravedad del agujero negro condensó el gas en el anillo que tenía alrededor hasta que la temperatura fue tan alta que se convirtió en un potente haz luminoso, proyectando una enorme cantidad de luz y otras radiaciones. Este anillo se transformó en un quásar.

Los gases circundantes del anillo del quásar actuaron como un generador eléctrico, provocando flujos de energía eléctrica que también se proyectaron en el espacio a ambos lados del anillo. Podemos observar uno de esos flujos de energía eléctrica en el 3C 273. Estos flujos gigantes de electricidad emiten unas potentes longitudes de onda y en los radiotelescopios se pueden ver unos enormes haces de luz a lo largo de los quásares. Las potentes "radiogalaxias" descubiertas antes de los quásares tienen unos agujeros negros que generan unos potentes haces de luz eléctricos, pero tienen un anillo central menos brillante.

A medida que fue pasando el tiempo, el agujero negro captó todo el gas residual y las estrellas del núcleo de la galaxia. El gas del anillo del quásar fue a parar al agujero negro y terminó desapareciendo. La luz del núcleo de la galaxia disminuyó de intensidad y, al consumirse el gas residual, el quásar se fue apagando y desapareció.

Ésta es la razón por la cual había gran cantidad de quásares en el universo primitivo y son tan escasas actualmente. Pero esperamos encontrar en el núcleo de gran número de galaxias, incluso en la nuestra, un quásar "muerto", es decir, un gigantesco agujero negro.

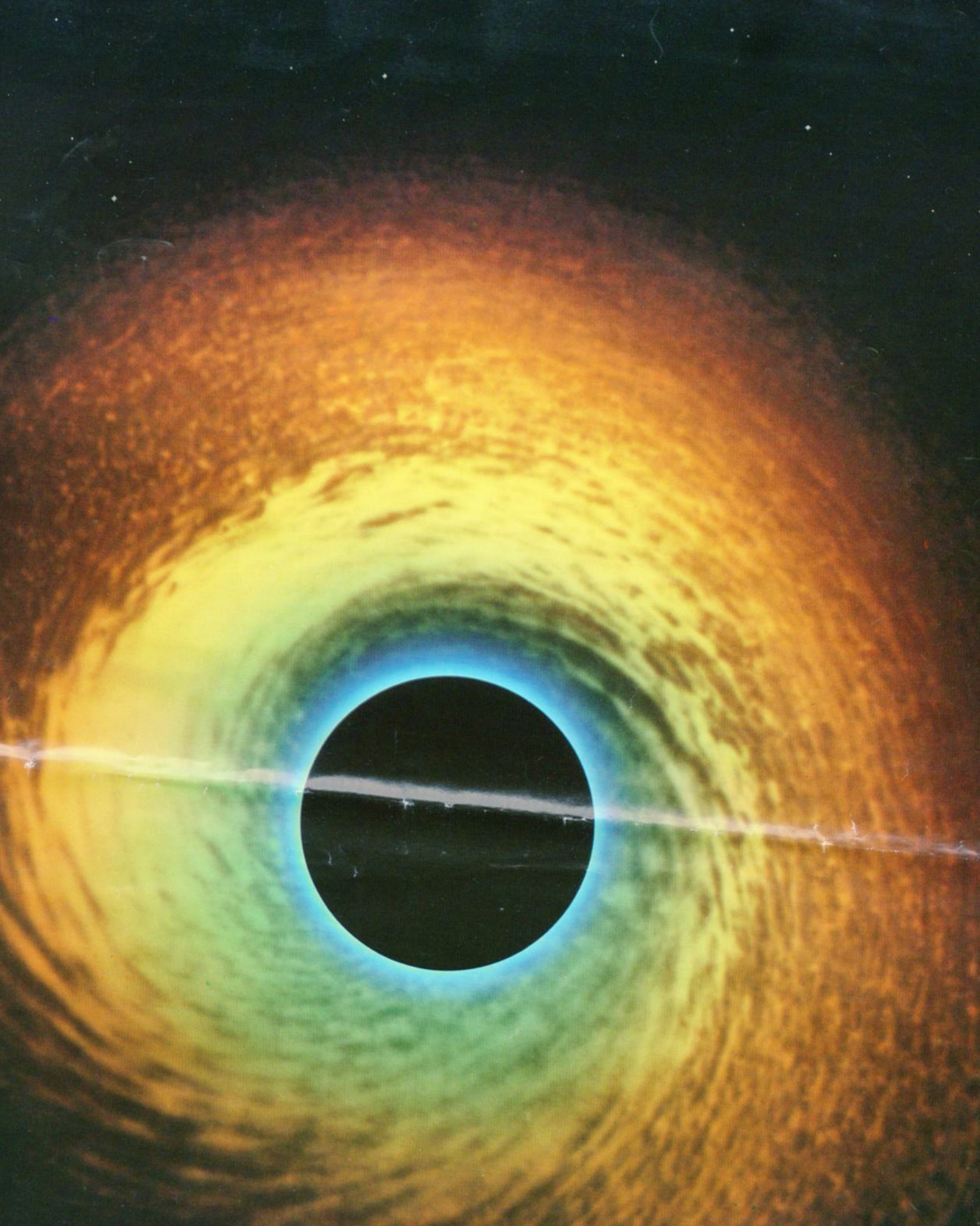
Derecha: El núcleo del quásar es una espiral luminosa de gases que desaparecen en un gigantesco agujero negro.

El agujero negro en el núcleo contiene billones de veces más materia que el sol. Esta materia está condensada de tal manera que no puede escapar a la gravedad: ni siquiera la luz escapa a este efecto; por consiguiente, el agujero es totalmente negro.

El agujero negro se encuentra en el núcleo de una joven galaxia y su potente efecto de gravedad atrae el gas residual del nacimiento de la galaxia y los residuos de las estrellas que estaban demasiado cerca del agujero negro, desgarradas por esta fuerza de atracción gigantesca.

Este gas forma un remolino alrededor del agujero negro, como el agua de la bañera al bajar por el desagüe. El gas circundante se va haciendo cada vez más caliente al acercarse al agujero negro y su luz es cada vez más brillante. Antes de desaparecer en el agujero, el gas emite una radiación luminosa, rayos X y ultravioleta y luz corriente.

El anillo luminoso que forma el quásar no es más grande que el sistema solar; sin embargo, brilla como cientos de galaxias juntas.



LA EXPANSIÓN DE LAS GALAXIAS

Hasta hace pocos años, los astrónomos pensaban que las galaxias no habían sufrido cambio alguno desde su formación. Sin embargo, actualmente hay pruebas evidentes de que las galaxias han aumentado de tamaño desde sus orígenes. Una galaxia en fase de crecimiento tiene que alimentarse de algo. Una galaxia típica como nuestra Vía Láctea no dispone de alimento alguno a su alrededor: flota en un espacio intergaláctico casi vacío. Sin embargo, hay regiones del universo en las que una galaxia tiene a mano una fuente de alimentación: los cúmulos de galaxias.

Los astrónomos han descubierto que la expansión de las galaxias no ha sido uniforme desde los primeros descubrimientos del astrónomo alemán Max Wolf hace un siglo. Utilizando el término actual de galaxias, describió cómo habían descubierto "nidos de nebulosas". En la década de los cincuenta, el astrónomo norteamericano George Abell elaboró un catálogo de 2.172 cúmulos de galaxias. Si nos adentramos en el espacio, vemos los cúmulos más distantes de galaxias tal y como eran poco después de la Gran Explosión.

La mayoría de las galaxias con un cúmulo se mueven a gran velocidad, pero no pueden escapar porque se encuentran bajo el efecto de gravedad de las otras galaxias. La gravedad conjunta de las galaxias depende también de los átomos de gas, manteniéndolos en una "bolsa" gigante que rellena el cúmulo de galaxias. Éste es, en su mayor parte, un gas residual de la Gran Explosión y también de la explosión de estrellas supernova en las galaxias.

Cuando el gas original penetró en el cúmulo, se calentó de forma extraordinaria y llegó a alcanzar la temperatura increíble de 100 millones de grados centígrados. No podemos observar este gas tan caliente con un telecospio corriente, pero es una poderosa fuente natural de rayos X. Algunos satélites han podido detectar la radiación de un número importante de cúmulos distantes de galaxias, lo que confirma la teoría de que tienen gigantescas bolsas de gas muy caliente. Sin embargo, el gas es tan enrarecido que no podría calentar las estrellas de una galaxia hasta esas altísimas temperaturas.

A pesar de las altas temperaturas, este gas enrarecido no pierde calor ni se enfría. El gas se enfría mejor en regiones de máxima condensación, es decir, en el núcleo mismo del cúmulo de las galaxias.

Andy Fabian, un astrónomo británico, calculó lo que tardarían en enfriarse las regiones centrales de gas hasta tener una temperatura corriente. En algunos cúmulos, los gases a altísimas temperaturas de la formación del cúmulo deberían tener todavía una temperatura de 100 millones de grados centígrados aproximadamente. No obstante, en gran número de casos, el gas en el núcleo del cúmulo debería haberse enfriado actualmente.

Éste es el problema. En un principio, el gas en el núcleo del cúmulo era comprimido por el gas caliente circundante y, cuando se enfrió, el gas que se encontraba en el núcleo no pudo dispersarse: la presión debió condensar el gas del núcleo en una pequeña nube de gas frío. Este tipo de gas emitió una radiación distinta en forma de ondas de radio o rayos de luz, aunque los telescopios no pueden captar estos dos tipos de radiación.

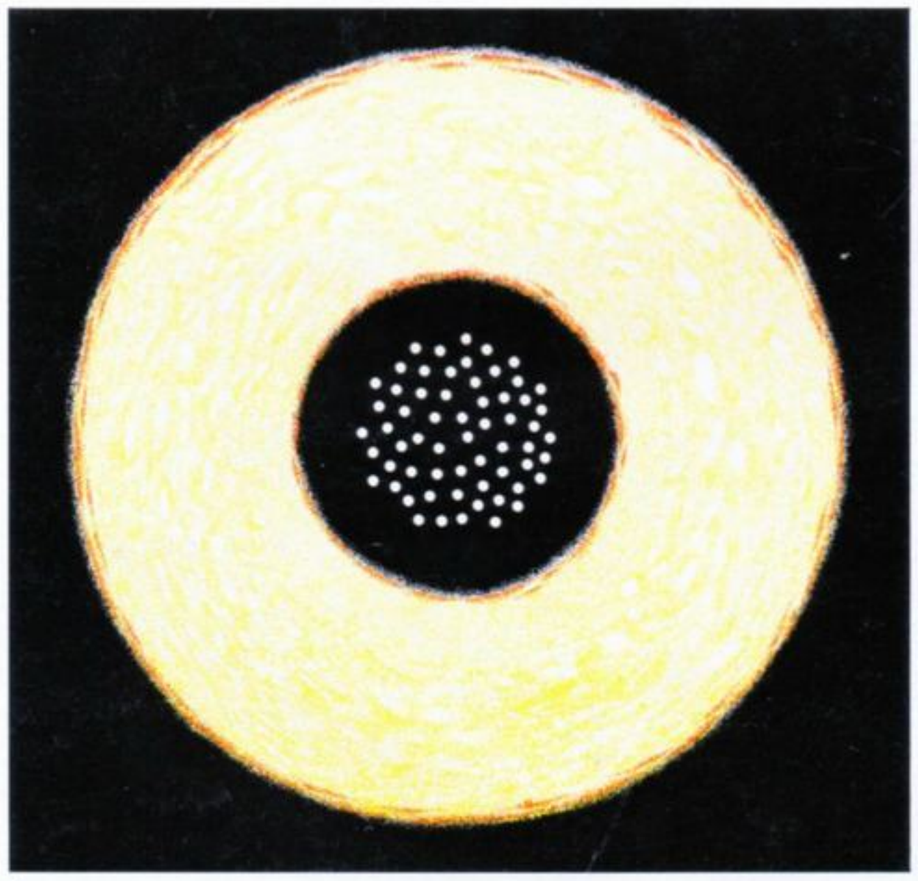
Fabian señala que el núcleo de esos cúmulos contiene a menudo una enorme galaxia elíptica. Las galaxias elípticas tienen, por regla general, muy poco o ningún gas luminoso alrededor; sin embargo, un pequeño rastro de gas luminoso constituye la excepción a esta regla. Sostiene que estos pequeños rastros son "flujos en proceso de enfriamiento" de un gas más denso y más frío empujados a la galaxia central.

Fabian piensa que el destino final de este gas es convertirse en estrellas. Éstas se agruparán con otras estrellas que ya están formando la galaxia elíptica. Sus investigaciones han dejado perplejos a los astrónomos y siguen siendo objeto de controversia. Desde que el gas comenzó a enfriarse hace billones de años, ha penetrado suficiente materia en la galaxia central hasta crear la mayoría de estrellas que contiene actualmente la galaxia. En otras palabras, poco después de la Gran Explosión, la galaxia central era mucho más pequeña que ahora. Al consumir constantemente el gas que se encuentra alrededor, la galaxia ha podido crear más estrellas e incluirlas en su masa hasta aumentar varias veces su tamaño original.

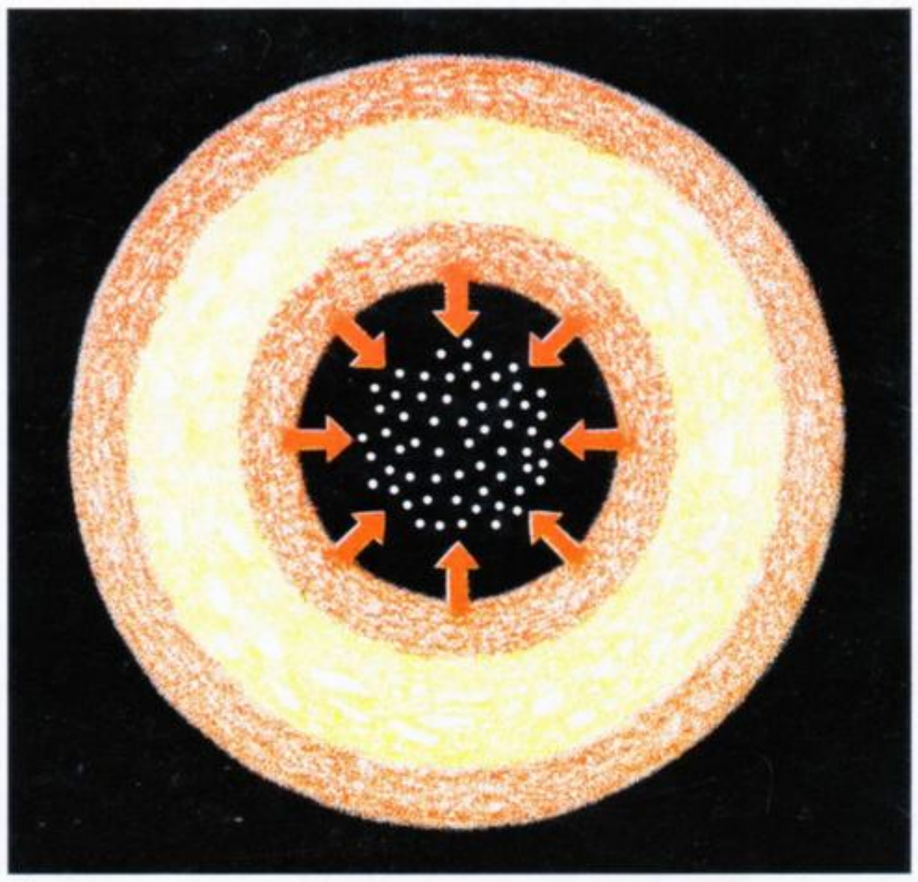
Derecha: Enormes filamentos de gas luminoso rojo penetran en una galaxia desde el espacio. El gas se condensa en una multitud de nuevas estrellas, creando un pequeño grupo de estrellas en una galaxia gigantesca.

1. *Una pequeña galaxia está rodeada de una inmensa nube de gas caliente. A una temperatura de más de 100 millones de grados centígrados, este gas no lo pueden captar los telecospios corrientes.*

2. *Transcurridos 500 millones de años, el núcleo de la nube de gas caliente se comienza a enfriar. Cuando alcanza una temperatura de 10 000 ºC, el gas se vuelve rojo y empieza a penetrar en la galaxia.*



1.



2.